

Studi Eksperimen Aliran Melalui *Square Duct* dan *Square Elbow 90°* dengan *Double Guide Vane* pada Variasi Sudut Bukan *Damper*

Andrew Jaya Nazar dan Wawan Aries Widodo

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: wawanaries@me.its.ac.id

Abstrak—Instalasi saluran udara tidak hanya berupa pipa lurus, tetapi juga terdapat *fitting*/aksesoris perpipaan misalnya *elbow 90°* dan *damper*. Aksesoris perpipaan ini berfungsi agar saluran udara dapat terpasang sesuai dengan kebutuhan. Namun, penggunaan aksesoris perpipaan ini menyebabkan bertambahnya *pressure drop* akibat adanya *friction loss* dan *separation loss*. Pemasangan *guide vane* pada *elbow 90°* diharapkan dapat mengurangi *pressure drop* karena dapat mengurangi terjadinya *secondary flow*, namun hal ini dapat menambah kerugian akibat gaya gesek. Saat ini penghematan energi menjadi sorotan terutama dalam dunia industri. Penurunan *pressure drop* pada belokan perpipaan sangat diharapkan, agar dapat menghemat energi lebih. Untuk itu perlu dilakukan usaha agar dapat menurunkan *pressure drop* yang terjadi. Penelitian ini dilakukan secara eksperimen dengan benda uji saluran udara yang terdiri dari: *upstream duct* (*straight duct*), *square elbow 90°* dengan $r/D_h=1,5$ dan dilengkapi *double guide vane*, *damper*, *downstream duct* (*straight duct*), dan *induced fan*. Pengukuran parameter yang dibutuhkan dilakukan dengan menggunakan: *pitot tube*, *inclined manometer*, *pressure transducer*. Dari eksperimen ini diperoleh bahwa profil kecepatan pada masing-masing variasi sudut bukan *damper* sudah mendekati keadaan *recovery* aliran pada akhir section baik dari bidang vertikal maupun horizontal. *Pressure drop* yang terjadi semakin naik seiring dengan bertambahnya nilai bilangan Reynolds dan sudut bukan *damper*. Nilai konstanta *damper* semakin naik dari bukan sudut 0° hingga 30° .

Kata Kunci— *damper*, *elbow 90°* dengan *double guide vane*, karakteristik aliran setelah *elbow*.

I. PENDAHULUAN

Pembangunan gedung-gedung bertingkat bertambah banyak dari masa ke masa, misalnya gedung pusat perbelanjaan dan apartemen. Setiap ruangan pasti membutuhkan energi untuk kenyamanan orang yang menempatinnya. Penelitian [1] tentang rata-rata penggunaan energi di 16 hotel di Hong Kong. Dari penelitian tersebut, didapatkan bahwa Konsumsi energi pada gedung-gedung ini digunakan antara lain 32% untuk sistem tata udara, 28% untuk non-electrical, 23% untuk kebutuhan khusus penyewa misalnya untuk dapur, 12% untuk sistem tata cahaya, dan 5% untuk sistem transportasi gedung (*lift* atau *escalator*). Data di atas mengatakan bahwa energi yang menyumbang cukup besar adalah sistem tata udara, karena membutuhkan daya yang cukup besar untuk mensirkulasikan udara dingin ke setiap ruangan pada gedung bertingkat. Untuk menyalurkan udara membutuhkan energi dan setiap

saluran memiliki kerugian energi. Jika mampu mengatasi kerugian ini maka akan menguntungkan dari segi energi maupun finansial.

Instalasi saluran udara yang dilewati fluida terdiri dari pipa lurus dan fitting perpipaan, misalnya *elbow 90°* dan *damper*. *Elbow* digunakan untuk membelokkan arah aliran agar instalasi terpasang sesuai kebutuhan dan *damper* dapat digunakan untuk proses *throttling*. Namun pemasangan fitting perpipaan ini dapat menyebabkan *pressure drop* yang lebih besar akibat adanya *friction loss* dan *separation loss*. Separasi terjadi akibat ketidakmampuan aliran melawan *adverse pressure gradient*. Sedangkan terbentuknya *secondary flow* terjadi akibat adanya perbedaan tekanan pada sisi *inner* dan *outer wall*. Karena fitting perpipaan ini, maka daya yang dibutuhkan untuk mengalirkan fluida menjadi meningkat. Dalam dunia industri hal seperti ini dapat menyebabkan kerugian dari segi energi dan finansial. Untuk itu pengurangan *pressure drop* menjadi hal yang penting karena saat ini dunia industri fokus pada penghematan energi dan pencarian alternatif.

Aliran di dalam *elbow 90°* mengalami separasi pada sisi *inner* dan *outer wall*. Separasi terjadi akibat ketidakmampuan aliran melawan *adverse pressure gradient*, sehingga sebagian aliran akan terpisah dan berbalik arah dari aliran utamanya dan akan membentuk *vortex* yang dapat mengurangi energi aliran. Sedangkan terbentuknya aliran sekunder (*secondary flow*) di dalam *rectangular elbow 90°* merupakan akibat dari adanya gerakan pemisahan aliran dari *outer wall* menuju *inner wall*. Pada *elbow 90°*, distribusi tekanan pada sisi *outer wall* lebih besar daripada sisi *inner wall*, hal ini memungkinkan partikel fluida bergerak dari *outer wall* menuju *inner wall*. Efek yang ditimbulkan oleh adanya aliran sekunder ini adalah terjadinya penyumbatan aliran (*blockage effect*).

Salah satu usaha untuk mengurangi kerugian aliran di dalam *elbow* adalah dengan menambahkan sudu pengarah (*guide vane*). Hal ini bertujuan untuk mengurangi *separation loss* yang terjadi karena *guide vane* dapat membuat aliran lebih mampu mengikuti kontur permukaan, dan diharapkan dapat mengurangi terbentuknya *secondary flow*. Namun di sisi lain penambahan *guide vane* dapat meningkatkan *friction loss* sehingga *pressure drop* belum tentu berkurang. Hal ini telah dikaji dalam penelitian secara eksperimen [2] tentang pengaruh penambahan *guide vane* terhadap *pressure drop* pada instalasi yang menggunakan *elbow*. *Elbow* yang digunakan adalah *rectangular elbow 90°* dengan 4 variasi pemasangan *guide vane* yaitu tanpa

guide vane, satu *guide vane*, dua *guide vane*, dan tiga *guide vanes*. Jarak pada setiap jumlah *guide vane* yang digunakan sama atau linier terhadap sisi dekat *inner wall* sampai *outer wall*. Re aliran yang melalui *elbow* divariasikan menjadi $2,1 \times 10^4$, $8,4 \times 10^4$ dan 12×10^4 . Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa untuk $Re\ 2,1 \times 10^4$, penambahan *guide vane* dapat dikatakan menguntungkan karena dapat mengurangi *pressure drop* yang terjadi, tetapi pada saat Re dinaikkan pada $8,4 \times 10^4$ dan 12×10^4 , penambahan *guide vane* justru merugikan karena meningkatkan *pressure drop* dibandingkan tidak menggunakan *guide vane*.

Kajian serupa dilakukan dalam penelitian [3] yang dilakukan secara numerik dan eksperimen tentang pengaruh penambahan *guide vane* terhadap *pressure drop* aliran di dalam *rectangular elbow 90°* dengan Reynolds $2,1 \times 10^5$ untuk mengetahui penurunan tekanan di sepanjang sisi output dan input *rectangular elbow 90°*. Desain jarak *guide vane* yang digunakan adalah sama atau linier dari posisi dekat *inner wall* hingga *outer wall*. *Guide vane* dibuat dengan sisi yang berbentuk *rounded* dengan harapan untuk mengurangi terjadinya separasi ketika fluida kontak dengan *guide vane* saat memasuki *rectangular elbow 90°*. Variabel yang divariasikan adalah *rounded leading edge guide vane* dengan satu nilai Reynolds number untuk mengetahui pengaruhnya terhadap penurunan tekanan. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa pengaruh penambahan dua *guide vane* justru meningkatkan penurunan tekanan aliran, karena perbedaan C_p antara *outer wall* dengan *inner wall* yang semakin besar.

Penelitian [4] secara eksperimen tentang *elbow 90°* yang ditambahkan sebuah *dampner* yang berupa *butterfly valve* setelahnya. Hasil pengujian mengatakan adanya perbedaan profil kecepatan antara saluran yang memakai *dampner* dan tidak. Penelitian [5] secara numerik juga mengatakan bahwa variasi sudut bukaan *dampner* sangat mempengaruhi *recovery aliran* pasca melewati *elbow 90°*.

II. RINCIAN EKSPERIMEN

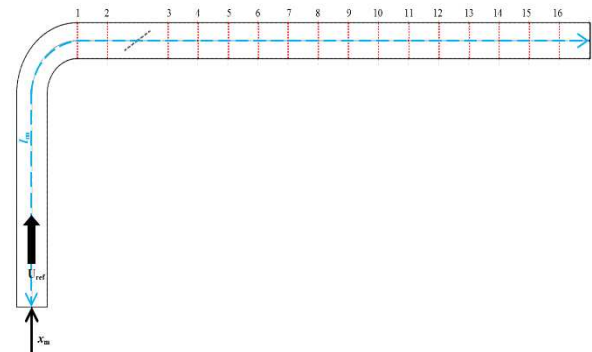
Eksperimen dilakukan di Laboratorium Mekanika Fluida, Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Instalasi utama penelitian berupa saluran *downstream* yang berpenampang square dengan $D_h=125$ mm sepanjang 16 D_h dan *elbow 90°* dengan *double guide vane* dengan *inner radius* $r_i=125$ mm, *outer radius* $r_o=250$ mm, radius *guide vane* pertama $r_{g1}=156,25$ mm, dan radius *guide vane* kedua $r_{g2}=218,75$ mm.

Udara dialirkan menggunakan *induced fan* dengan putaran maksimum 1350 rpm dan daya 0,75 kW. Inverter digunakan untuk mengatur kecepatan motor sehingga tercapai kecepatan fluida yang diinginkan. Peralatan pendukung seperti *nozzle*, *elbow*, *difuser*, dan *connector*. *Dampner* dipasang pada saluran *downstream* dengan jarak $x = 2D_h$ dari outlet *elbow 90°* dengan variasi sudut bukaan $\theta = 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$, dan 30° (berputar secara *counterclockwise*). Skema instalasi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar. 1. Skema instalasi penelitian

Pengukuran Tekanan dilakukan menggunakan *pitot static tube* yang dihubungkan dengan *inclined manometer* yang terisi oleh *kerosene* ($SG=0,827$) dengan kemiringan sebesar 15° dan menggunakan *pressure transducer & data aquisition*. Manometer terhubung dengan *wall pressure tap* yang terpasang pada 16 *test section*.



Gambar. 2. Lokasi pengambilan data tekanan statis dan profil kecepatan

Dalam penelitian ini, data profil kecepatan diambil berdasar pada bilangan Reynolds di saluran inlet sebesar $7,98 \times 10^4$ atau dengan kecepatan udara masuk sebesar 10 m/s dan memvariasikan sudut bukaan *dampner*. Data *pressure drop* diambil dengan cara memvariasikan bukaan *dampner* dan bilangan Reynolds dengan cara menaikkan kecepatan inlet secara bertingkat dengan penambahan sebesar 1 m/s dari 5 m/s hingga 12 m/s, atau dari bilangan Reynolds sebesar $3,99 \times 10^4$ hingga $9,58 \times 10^4$.

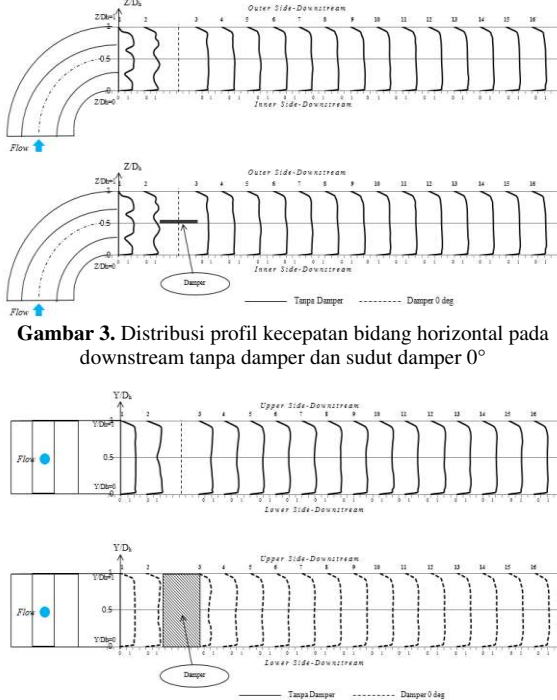
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perbandingan Profil Kecepatan pada Sudut Bukaan *Dampner* 0° dengan Tanpa *Dampner* Saat $Re=7,87 \times 10^4$

Perbedaan profil kecepatan yang terjadi pada aliran dengan bukaan *dampner* 0° dengan tanpa *dampner* terlihat tidak terlalu signifikan jika dilihat secara keseluruhan. Berdasarkan eksperimen yang dilakukan, kedua profil kecepatan pada section 1 (outlet *elbow*) untuk bidang horizontal dan vertikal terlihat sama dan tidak menunjukkan adanya *backflow*. Hal ini berarti profil kecepatan aliran yang melewati *elbow* memiliki karakteristik yang mirip untuk instalasi yang memasang *dampner* 0° dengan tanpa *dampner*.

Pada section 3 bidang horizontal (Gambar 3), hanya sedikit perbedaan profil kecepatan yaitu pada $Z/D_h=0,5$ merupakan tempat *downstream dampner* sehingga lokasi tersebut memiliki profil kecepatan yang lebih rendah daripada instalasi tanpa *dampner*. Dari section 11 hingga akhir instalasi, profil kecepatan tanpa *dampner* dengan sudut bukaan 0° sudah terlihat sama dan keduanya hampir mengalami *recovery aliran* setelah melewati hambatan.

Pada section 3 bidang vertikal (Gambar 4), terlihat lebih jelas adanya defisit aliran pada daerah di sekitar $Y/D_h=0,5$ pada instalasi yang terpasang damper. Hal ini disebabkan oleh tidak mampunya aliran untuk mengikuti kontur bodi sehingga terjadi separasi aliran setelah meninggalkan damper dan pada section tersebut terjadi sedikit keterlambatan aliran.



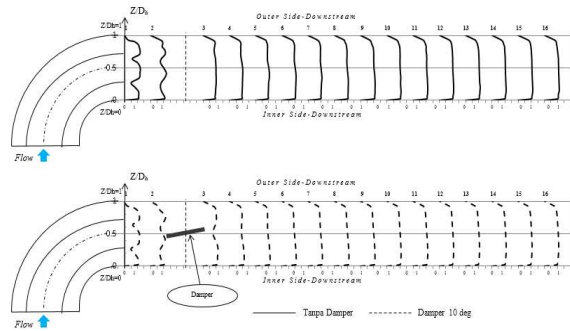
Gambar 3. Distribusi profil kecepatan bidang horizontal pada downstream tanpa damper dan sudut damper 0°

B. Perbandingan Profil Kecepatan pada Sudut Bukaannya Damper 10° dengan Tanpa Damper Saat $Re=7,87 \times 10^4$

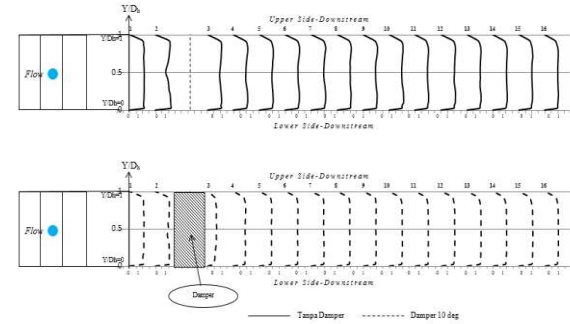
Perbedaan profil kecepatan yang terjadi pada aliran dengan bukaan damper 10° dengan tanpa damper juga terlihat tidak terlalu signifikan jika dilihat secara keseluruhan. Berdasarkan eksperimen yang dilakukan, kedua profil kecepatan pada section 1 (outlet elbow) untuk bidang horizontal dan vertikal terlihat sama dan tidak menunjukkan adanya backflow. Hal ini berarti profil kecepatan aliran yang melewati elbow memiliki karakteristik yang mirip untuk instalasi yang memasang damper 10° dengan tanpa damper.

Pada section 3 bidang horizontal (Gambar 5), perbedaan profil kecepatan mulai terlihat berbeda yaitu pada $Z/D_h=0,5$ yang merupakan tempat downstream damper sehingga lokasi tersebut memiliki profil kecepatan yang lebih rendah daripada instalasi tanpa damper. Dari section 11 hingga akhir instalasi, profil kecepatan tanpa damper dengan sudut bukaan 10° sudah terlihat sama dan keduanya hampir mengalami recovery aliran setelah melewati hambatan.

Pada section 2 bidang vertikal (Gambar 6), terlihat aliran yang melewati saluran yang dipasang damper lebih sedikit terjadi defisit profil kecepatan dibandingkan dengan instalasi tanpa damper. Namun pada section 3, aliran banyak mengalami defisit dari upper hingga lower wall karena ketidakmampuan aliran untuk mengikuti kontur bodi sehingga terjadi separasi aliran setelah meninggalkan damper dan pada section tersebut terjadi keterlambatan aliran.



Gambar 5. Distribusi profil kecepatan bidang horizontal pada downstream tanpa damper dan sudut damper 10°



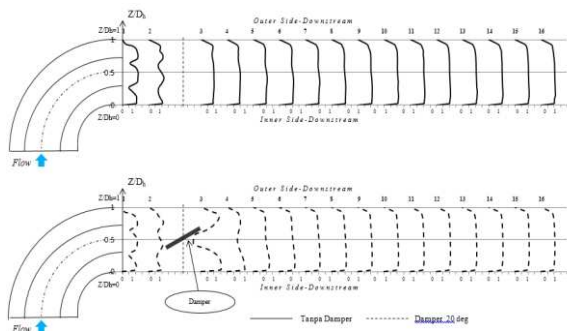
Gambar 6. Distribusi profil kecepatan bidang vertikal pada downstream tanpa damper dan sudut damper 10°

C. Perbandingan Profil Kecepatan pada Sudut Bukaannya Damper 20° Dengan Tanpa Damper Saat $Re=7,87 \times 10^4$

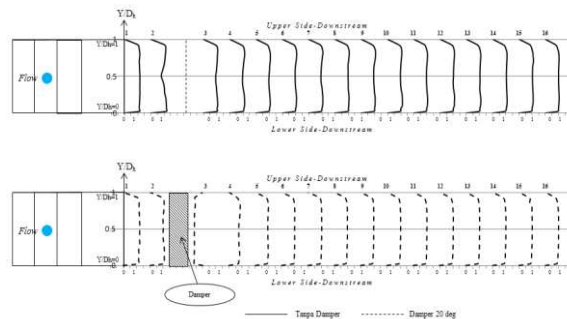
Perbedaan profil kecepatan yang terjadi pada aliran dengan bukaan damper 20° dengan tanpa damper sudah terlihat berbeda. Namun berdasarkan eksperimen yang dilakukan, kedua profil kecepatan pada section 1 (outlet elbow) untuk bidang horizontal dan vertikal tetap terlihat sama dan tidak menunjukkan adanya backflow. Hal ini berarti profil kecepatan aliran yang melewati elbow memiliki karakteristik yang mirip untuk instalasi yang memasang damper 20° dengan tanpa damper.

Pada section 3 bidang horizontal (Gambar 7), perbedaan profil kecepatan mulai terlihat berbeda yaitu pada Z/D_h dari 0,416 hingga 0,64 sudah terlihat backflow yang cukup besar dengan u/U_{Ref} paling rendah sebesar -0,56. Namun backflow tidak berlangsung panjang, pada section 4 sudah tidak terjadi backflow. Dari section 11 hingga akhir instalasi, profil kecepatan tanpa damper dengan sudut bukaan 20° sudah terlihat sama dan keduanya hampir mengalami recovery aliran setelah melewati hambatan.

Pada section 2 bidang vertikal (Gambar 8), terlihat aliran yang melewati saluran yang dipasang damper lebih sedikit terjadi defisit profil kecepatan dibandingkan dengan instalasi tanpa damper. Namun pada section 3, seluruh aliran dari upper hingga lower wall terlihat adanya backflow karena aliran tidak mampu mengikuti kontur bodi sehingga terjadi separasi aliran setelah meninggalkan damper dan pada section tersebut terjadi keterlambatan aliran.



Gambar 7. Distribusi profil kecepatan bidang horizontal pada downstream tanpa damper dan sudut damper 20°



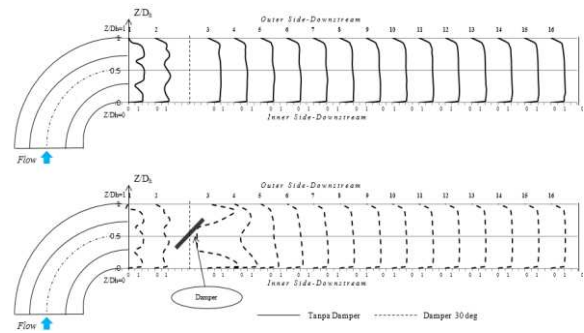
Gambar 8. Distribusi profil kecepatan bidang vertikal pada downstream tanpa damper dan sudut damper 20°

D. Perbandingan Profil Kecepatan Pada Sudut Bukaannya Damper 30° Dengan Tanpa Damper Saat $Re = 7,87 \times 10^4$

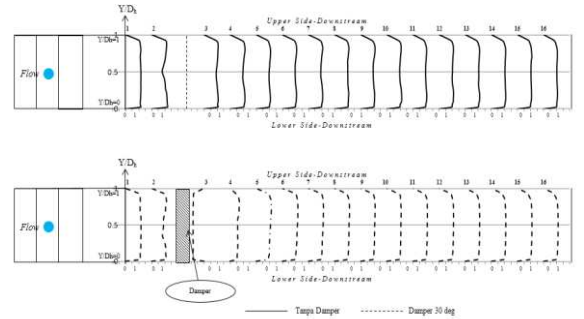
Perbedaan profil kecepatan yang terjadi pada aliran dengan bukaan damper 30° dengan tanpa damper terlihat berbeda. Berdasarkan eksperimen yang dilakukan, sudut bukaan damper 30° memberi pengaruh terhadap aliran yang melewati elbow yang dilengkapi dengan double guide vane, profil kecepatan pada section 1 (outlet elbow) untuk bidang horizontal menunjukkan sedikit adanya backflow pada sisi outer, namun pada bidang vertikal tetap terlihat sama dan tidak menunjukkan adanya backflow. Profil kecepatan aliran yang melewati elbow tidak lagi memiliki karakteristik yang mirip untuk instalasi yang memasang damper 30° dengan tanpa damper karena perbedaan tersebut.

Pada section 3 bidang horizontal (Gambar 9), profil kecepatan terlihat jelas berbeda yaitu pada Z/D_h dari 0,272 hingga 0,704 sudah terlihat backflow yang cukup besar dengan u/U_{Ref} paling rendah sebesar -0,838. Namun backflow tidak berlangsung panjang, pada section 4 sudah tidak terjadi backflow. Dari section 11 hingga akhir instalasi, profil kecepatan tanpa damper dengan sudut bukaan 30° sudah terlihat sama dan keduanya hampir mengalami recovery aliran setelah melewati hambatan.

Pada section 2 bidang vertikal (Gambar 10), terlihat aliran yang melewati saluran yang dipasang damper lebih sedikit terjadi defisit profil kecepatan dibandingkan dengan instalasi tanpa damper. Namun pada section 3, seluruh aliran dari upper hingga lower wall terlihat adanya backflow dengan kisaran nilai $u/U_{Ref} = 0,8$. Hal ini disebabkan karena aliran tidak mampu mengikuti kontur bodi sehingga terjadi separasi aliran setelah meninggalkan damper dan pada section tersebut terjadi keterlambatan aliran.



Gambar 9. Distribusi profil kecepatan bidang horizontal pada downstream tanpa damper dan sudut damper 30°



Gambar 10. Distribusi profil kecepatan bidang vertikal pada downstream tanpa damper dan sudut damper 30°

E. Pressure Drop pada Square Duct dengan Square Elbow 90° Fungsi Bilangan Reynolds dengan Variasi Sudut Bukaannya Damper 0°, 10°, 20°, 30°

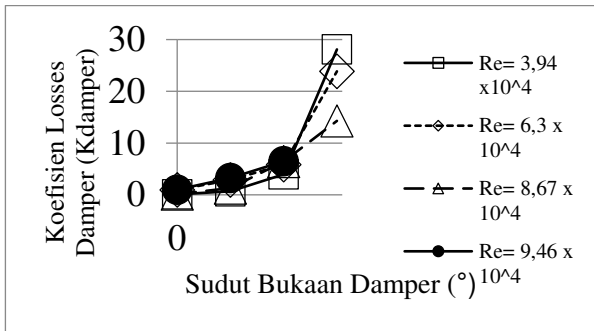
Nilai pressure drop dengan variasi bilangan Reynolds $3,94 \times 10^4 < Re_{Dh} < 105$ (kecepatan udara 5 m/s sampai 12 m/s dengan kenaikan kecepatan 1 m/s) pada variasi sudut bukaan damper 0°, 10°, 20° dan 30° ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

TABEL 1. TABEL PRESSURE DROP TIAP SUDUT BUKAAN DAMPER

0 DERAJAT			10 DERAJAT		
Velocity (m/s)	Re	Delta P	Velocity (m/s)	Re	Delta P
5	3.99E+04	1.79	5	39924.45	10.62
6	4.79E+04	7.14	6	47909.34	23.89
7	5.59E+04	11.25	7	55894.23	38.05
8	6.39E+04	12.86	8	63879.12	55.57
9	7.19E+04	20.54	9	71864.01	62.64
10	7.98E+04	28.75	10	79848.9	68.48
11	8.78E+04	34.64	11	87833.79	74.68
12	9.58E+04	48.93	12	95818.68	90.25

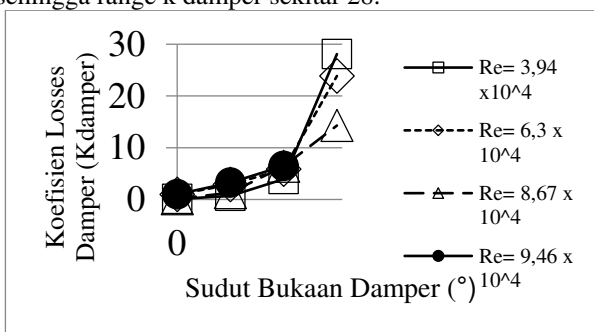
20 DERAJAT			30 DERAJAT		
Velocity (m/s)	Re	Delta P	Velocity (m/s)	Re	Delta P
5	39924.45	35.18376	5	39924.45	104.95
6	47909.34	46.91168	6	47909.34	165.97
7	55894.23	55.45914	7	55894.23	194.31
8	63879.12	73.74675	8	63879.12	260.19
9	71864.01	93.02824	9	71864.01	306.41
10	79848.9	117.478	10	79848.9	373.56
11	87833.79	156.6373	11	87833.79	411.87
12	95818.68	193.8088	12	95818.68	

Pada Tabel 1 di atas jika dilihat secara keseluruhan, semakin bertambahnya bilangan Reynolds maka akan semakin bertambah pula pressure drop yang terjadi. Secara umum pemasangan damper 0° dengan tanpa damper tidak memiliki perbedaan pressure drop yang besar baik untuk bilangan Reynolds range yang paling rendah hingga yang paling tinggi. Perbedaan yang cukup besar terjadi pada bukaan sudut 30°, pada bilangan Reynolds $3,94 \times 10^4$ nilai pressure drop yang terjadi pada 30° naik hingga sekitar 58 kali lipatannya. Namun pada bilangan Reynolds $8,78 \times 10^4$ pressure drop yang terjadi pada bukaan 30° nilainya berkisar 8,4 kali dibandingkan sudut bukaan 0°.



Gambar 11. k Damper untuk masing-masing bukaan sudut

Dari gambar 11 di atas didapat bahwa semakin bertambah besarnya sudut bukaan damper, semakin bertambah pula nilai konstanta dampernya. Pada sudut 0°, semakin besar nilai Reynolds, semakin bertambah pula nilai konstanta dampernya. Namun untuk sudut bukaan 30° dengan bertambahnya bilangan Reynolds, maka nilai k yang didapat semakin kecil. Range nilai k damper selama eksperimen ini 0,08 hingga 28,09 sehingga range k damper sekitar 28.



Gambar 12. k elbow dengan double guide vane pada variasi sudut bukaan damper

Gambar 12 di atas merupakan grafik yang menunjukkan harga dari k elbow yang telah dilengkapi oleh double guide vane di dalamnya. Nilai k elbow cenderung turun dari sudut bukaan damper 0° hingga 30° untuk semua bilangan Reynolds. Hal ini diakibatkan karena dengan bertambahnya sudut bukaan damper, separation loss yang terjadi pada elbow semakin berkurang. Nilai k elbow with double guide vane terendah adalah 0,35 dan tertinggi sebesar 0,21 sehingga range k elbow with double guide vane berkisar 0,14.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil eksperimen yang dilakukan, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pressure drop instalasi semakin bertambah seiring dengan bertambahnya nilai bilangan Reynolds dan bertambah besarnya sudut bukaan damper. Nilai tertinggi terdapat pada bilangan Reynolds $8,78 \times 10^4$ dengan bukaan sudut damper 30° dan nilai terendah terdapat pada bilangan Reynolds $3,9924 \times 10^4$ dengan bukaan sudut damper 0°. Berdasarkan hasil eksperimen, faktor yang paling berpengaruh adalah kecepatan fluida yang mengalir dalam instalasi saluran udara, dan terdapat faktor lain yaitu gesekan, pemasangan elbow, dan pemasangan damper.

Kerugian yang paling mendominasi dalam perhitungan pressure drop adalah penambahan sudut bukaan damper yaitu sebesar 84%.

2. Profil kecepatan aliran pada tiap variasi sudut bukaan mulai mendekati keadaan recovery aliran pada daerah 11 Dh untuk semua bilangan Reynolds. Jika dibandingkan dari besaran dan bentuk profil kecepatan sisi upstream maka yang paling mendekati adalah aliran dengan variasi sudut bukaan damper 30°.
3. Nilai koefisien *minor losses* untuk elbow cenderung turun seiring dengan bertambahnya bilangan Reynolds untuk sudut bukaan 0° hingga 20° sedangkan untuk sudut 30° nilai k elbow meningkat drastis. Hal ini dikarenakan oleh meningkatnya perbedaan tekanan pada daerah *inlet* dan *outlet elbow*.
4. Nilai koefisien *minor losses* untuk damper semakin meningkat seiring dengan kenaikan bilangan Reynolds. Pada bukaan sudut 0° nilai k damper tertinggi terdapat pada aliran dengan bilangan Reynolds tertinggi, yaitu $9,46 \times 10^4$. Fenomena ini berubah pada sudut bukaan 30°, nilai k damper tertinggi terdapat pada nilai bilangan Reynolds yang terendah, yaitu $3,94 \times 10^4$.
5. Penambahan besaran sudut bukaan damper memberikan pengaruh terhadap profil kecepatan pada instalasi saluran udara dengan dua guide vane pada square elbow 90°. Pada sudut 0°, 10°, 20° tidak terdapat backflow pada outlet elbow, sedangkan pada 30° terdapat backflow. Hal ini berarti penambahan guide vane tidak sepenuhnya mampu mengatasi kerugian akibat separation loss. Kerugian akibat gesekan dan separasi meningkat seiring dengan bertambahnya bilangan Reynolds.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Shi-Ming Deng and John Burnett, "A study of energy performance of hotel buildings in Hong Kong," China. 1998.
- [2] Sutardi, A.W.Wawan, Affan.ibnu, Iswati, dan M.D.Sutrisno, *Experimental Study on The Effect of Guide Vane Insertion and Reynolds Numbers on The Flow Pressure Drop in a 90 Rectangular Elbow*. Surabaya. 2010.
- [3] Iswati, *Studi Eksperimental dan Numerik Pengaruh Penambahan Dua Guide Vanes terhadap Pressure Drop Aliran didalam Horizontal Rectangular Elbow 90° studi kasus untuk angka Reynolds $2,1 \times 10^5$* . Surabaya. 2009.
- [4] Danbon & C. Sollicc, "Aerodynamic Torque of Butterfly Valve-Influence of an Elbow on The Time-Mean and Instantaneous Aerodynamic Torque", *J. Fluids Engineering*, vol. 122, p. 337-344, 2000.
- [5] Putra, Edo Edgar Santosa, "Simulasi Numerik Aliran Tiga Dimensi Melalui Rectangular Duct Dengan Variasi Bukaan Damper," Surabaya. 2016.